

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УДАРНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ПРИ ПИТАНИИ ДУГОВОЙ НАГРУЗКИ

Г. А. СИПАЙЛОВ, А. В. ЛООС, Э. И. СОБКО

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

Для питания импульсных ламп накачки оптических квантовых генераторов — лазеров, а также установок, использующих электрогидравлический эффект (установки для возбуждения сейсмических колебаний при геологоразведке, разрушения крепких горных пород и т. д.), необходимы импульсные источники питания, обеспечивающие выделение в дуговом промежутке потребителя за время нескольких миллисекунд энергии порядка 10—100 мдж [1].

Как правило, в настоящее время для питания вышеуказанных потребителей применяют в качестве накопителей и источников энергии конденсаторные батареи. Накопление энергии в конденсаторах является выгодным с точки зрения минимальных потерь, однако, с другой стороны, электрический метод накопления является самым дорогим и громоздким по объему, не позволяющим накапливать указанные величины энергии.

Индуктивные накопители, несмотря на значительно высокую энергоемкость, обладают малой экономичностью из-за больших потерь энергии и требуют мощного зарядного устройства. Нерешенной является и проблема коммутации энергии от индуктивного накопителя в нагрузку.

Анализ существующих тенденций в решении вопроса питания импульсных дуг показывает, что одним из наиболее перспективных импульсных источников энергии является синхронный ударный генератор [2]. В связи с этим возникает задача исследования возможностей ударных генераторов и повышения эффективности их использования при питании дуговой нагрузки.

Наиболее полно описывает электромеханические переходные процессы, происходящие в ударном генераторе, система дифференциальных и алгебраических уравнений [3].

Импульсная дуга является динамической. В ней нет однозначной зависимости напряжения от тока. При возрастании тока эта зависимость отличается от таковой при его уменьшении. Кроме того, вольтамперные характеристики описанных выше устройств, в основу которых положено использование импульсной дуги, определяются их конструкцией и могут иметь различный характер. Для выяснения качественной картины была принята упрощенная аппроксимация вольтамперной характеристики дуги гиперболой, известной в литературе под названием Аиртон

$$U_d = K_1 + \frac{K_2}{i}, \quad (1)$$

Решение нелинейной системы дифференциальных и алгебраических уравнений, описывающей происходящие процессы, невозможно в общем виде, поэтому с целью выполнения большой программы исследований по полной системе уравнений была создана математическая модель на базе аналоговой вычислительной машины МН-14.

Одной из главных задач исследований является определение оптимальной величины напряжения горения дуги, при котором в дуговом промежутке выделится максимальная энергия. Как показали исследования, величина оптимального напряжения горения дуги почти не зависит от параметров ударного генератора, а существенно зависит от угла инициирования дуги α . При увеличении угла α до определенных пределов происходит рост согласованного напряжения горения дуги и величины энергии, выделяемой в дуговом промежутке, при одновременном сокращении длительности ее ввода t_d в дуговой промежуток, что весьма благоприятно для указанных выше потребителей.

В этой связи нами был предложен следующий способ питания потребителей, в основу работы которых положена импульсная дуга. Схема работы генератора приведена на рис. 1, где X_c, X_b, X_{Dd}, X_{Dq} — индуктивные сопротивления контуров генератора соответственно статорного, обмотки возбуждения и демпферных по осям d и q ; r_c, r_b, r_{Dd}, r_{Dq} — активные сопротивления контуров; К-1, К-2 — коммутирующие аппараты;

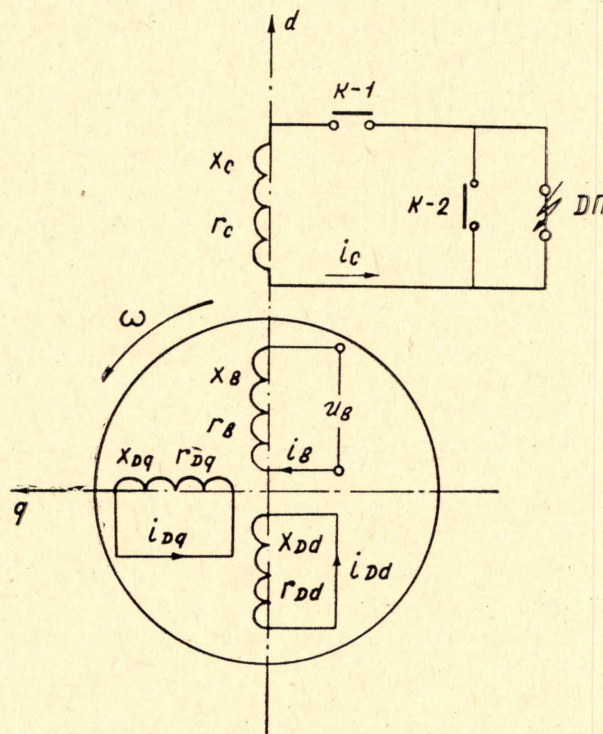


Рис. 1. Схема работы генератора на дуговой промежутке

ДП — дуговой промежуток, замкнутый накоротко в начальный момент времени иницирующей провололочкой.

Способ питания импульсных дуг с использованием в качестве источника энергии ударного генератора можно уяснить, рассмотрев работу схемы, показанной на рис. 1. В исходном состоянии ударный генератор работает на холостом ходу, контактный аппарат К-1 разомкнут, К-2 замкнут.

В момент перехода эдс генератора через нуль (рис. 2) производят замыкание коммутирующего аппарата К-1. Генератор попадает в режим внезапного короткого замыкания и ток i_c быстро растет. При этом в полях рассеяния генератора происходит накопление энергии. Ток генератора i_c распределяется по двум параллельным ветвям: контактного аппарата К-2 и замкнутой иницирующей проволочкой дугового промежутка ДП, обратно пропорционально их сопротивлениям.

При достижении определенного угла иницирования дуги α , после того как в индуктивности генератора будет накоплено некоторое количество энергии, производят размыкание контактного аппарата К-2, шунтирующего дуговой промежуток. Перевод тока из контактов К-2 в цепь дугового промежутка осуществим, так как время перегорания иницирующей проволочки нетрудно выбрать несколько большим времени замыкания контактов К-2. Иницирующая проволочка перегорает, и в дуговом промежутке возникает дуга. Дальнейшее изменение тока в дуге и передача энергии в нее определяется запасом электромагнитной энергии в индуктивности генератора и фазовым углом напряжения генератора, при котором произошло иницирование дуги. При этом происходит передача энергии в дугу одновременно из полей рассеяния генератора и из маховых масс генератора. В момент перехода тока статора i_c через нуль производят размыкание К-1.

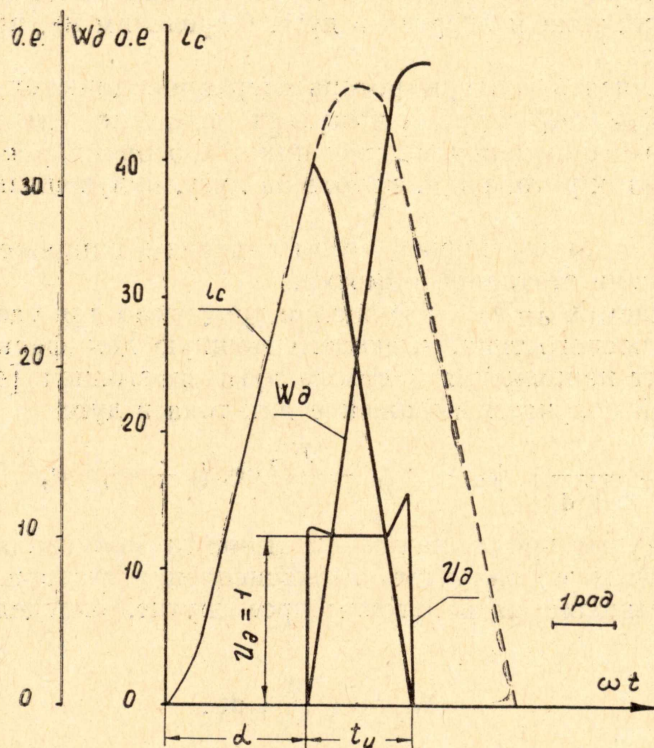


Рис. 2. Форма кривых тока, напряжения и энергии

На рис. 2 приведены осциллограммы решения на аналоговой вычислительной машине МН-14 уравнений ударного генератора с параметрами в о.е. $x''_d=0,0391$, $x_{Dd}=x_{Dq}=1,02$, $x_B=1,2$, $r_c=0,00156$, $r_B=r_{Dd}=r_{Dq}=0,001$, $U_B=0,001$ с напряжением горения дуги в о.е. $U_d=1$. За единицу напряжения принято амплитудное значение напряжения ударного генератора.

На рис. 3 приведены зависимости согласованного напряжения горения дуги U_d , длительности ввода энергии в дугу t_u , коэффициента пере-

дачи энергии в дугу $K_d = \frac{W_d}{W_{кз}}$ ($W_{кз}$ — энергия короткого замыкания) и коэффициента амплитуды тока $K_i = \frac{1}{I_{кз}}$ в зависимости от угла иницирования дуги α , рассчитанные для ударного генератора с параметрами, указанными выше. Как видно из рис. 3, при увеличении угла иницирования дуги α ударный генератор все больше превращается в индуктивный накопитель, заряжаемый за время поворота ротора на угол α и разряжаемый за время $t_{и}$.

При этом если иницировать дугу в момент времени, когда ток статора i_c достигает максимума (на рис. 2 показан пунктирной линией), то при бесконечном большом напряжении горения дуги в этом случае теоретически возможно полностью передать в дуговой промежуток энергию внезапного короткого замыкания, запасенную в полях рассеяния генератора, за бесконечно малый промежуток времени. На практике это невозможно, поэтому ограничимся напряжением горения дуги в о. е. $U_d = 1$ (т. е. равном амплитудному значению эдс генератора). При этом коэффициент передачи энергии в дуговой промежуток составит $K_d = 0,9$, а длительность импульса

$$t_{и} = 1,7 \text{ рад (при } f = 50 \text{ гц, } t_{и} = 5,4 \text{ мсек.)}$$

Для инженерных расчетов необходимы аналитические выражения для определения тока и энергии в дуге. Определим их, приняв следующие допущения:

1. Будем считать контуры ротора сверхпроводниками, т. е. потоко-сцепления $\psi_{в}$, $\psi_{Dа}$, $\psi_{Dг}$ за время импульса тока не изменяются. Возможность такого допущения подтверждается осциллограммами потоко-сцеплений обмоток ротора при работе на дугу, полученными на машине МН-14.

2. Так как $i_{счс} \ll U_d$ пренебрегаем падением напряжения на активном сопротивлении статорной обмотки.

3. Принимаем $X''_d = X''_q$, что вполне допустимо для ударного генератора неявнополюсного типа, имеющего мощную демпферную систему.

4. Градиент напряжения в стволе дуги постоянен [4]. Исходя из этих допущений получаем выражение для тока в дуге

$$i_c = \frac{\omega}{X''_d} \left[\psi_{с0} - U_d t - \frac{E_m}{\omega} \cos(\alpha + \omega t) \right] a, \quad (2)$$

где t — текущее время, начиная с момента зажигания дуги,

$\psi_{с0}$ — начальное значение потоко-сцепления статорной обмотки.

Энергия, выделяемая в дуговом промежутке, определится по формуле

$$W_d = U_d \int_0^{t_u} i_c dt, \quad (3)$$

После подстановки выражения (2) в формулу (3) получаем

$$W_d = \frac{U_d \omega}{X''_d} \left\{ \psi_{с0} t - \frac{t^2 U_d}{2} - \frac{E_m}{\omega^2} \left[\sin(\alpha + \omega t) + \sin \alpha \right] \right\} дж. \quad (4)$$

Конечное значение энергии, выделяемой в дуге за время одного импульса, может быть определено по более простой зависимости

$$W_d = \frac{2K_d E_m^2}{X''_d \omega} дж, \quad (5)$$

где

$K_d = f(\alpha)$ может быть определено из рис. 3.

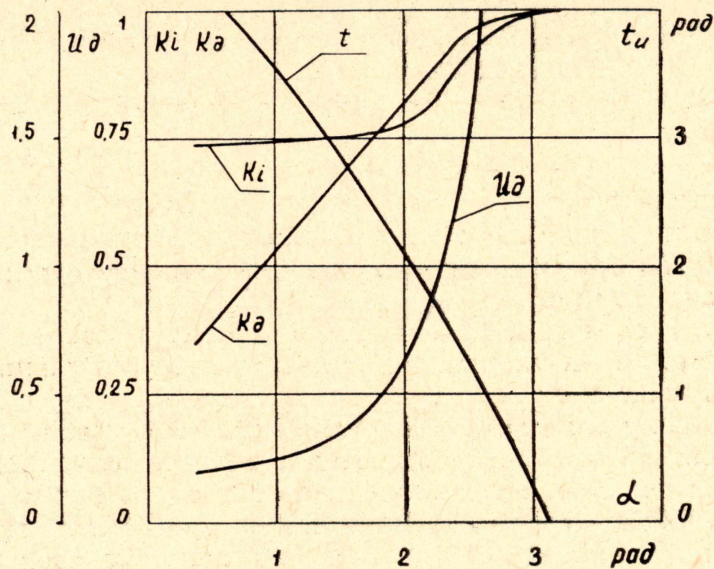


Рис. 3. Энергетические характеристики генератора при работе на импульсную дугу

Таким образом, выполненные исследования показали, что согласованное напряжение горения дуги не зависит от параметров ударного генератора, а в сильной степени зависит от угла инициирования дуги. Причем увеличение угла инициирования приводит к увеличению использования ударного генератора. Последнее обстоятельство позволило разработать схему питания импульсной дуги от ударного генератора, позволяющую передать в дугу значительно большую долю энергии внезапного короткого замыкания, чем при непосредственном включении генератора на дуговой промежуток. При этом одновременно сокращается время передачи энергии в дугу, достигая нескольких миллисекунд при частоте эдс генератора 50 $\mu\text{с}$, что значительно расширяет области применения ударных генераторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. П. Кононов, Б. А. Скребнев. Применение импульсных электроэнергетических систем, импульсная электроэнергетика. — Сборник статей. Казань, 1970.
2. Л. П. Гнедин, Э. Г. Кашарский, Ф. Г. Рутберг. О перспективах применения турбогенераторов для получения больших импульсных мощностей при питании мощных плазматронов. — «Электротехника», 1971, № 3.
3. А. В. Лоос, Г. А. Сипайлов. Математическое моделирование электромагнитных процессов ударного генератора. — «Изв. ТПИ». Т. 152, 1966.
4. Л. М. Залесский. Электрическая дуга отключения. ГЭИ, 1963.